

高等工科院校教材

材料力学

殷尔禧
张诒宁

主编



科学技术文献出版社

高等工科院校教材

材料力学

殷尔禧
张治宁

主编



科学技术文献出版社

(京)新登字130号

本书是根据国家教委审订的材料力学教学基本要求
(多学时类)和安徽省各工科院校的教学实际编写的。

本书内容包括:绪论、轴向拉伸与压缩、剪切、平面图形的几何性质、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态理论、强度理论、组合变形、能量法、压杆稳定、大曲率杆、厚壁圆筒和旋转圆盘、动载荷、应变应力、杆件塑性分析、实验应力分析基础和断裂力学基础共二十章,另有附录I。在大多数章后附有思考题和习题,习题不附答案。

本书主要用作高等工科院校土建、机械类各专业多学时类型材料力学课程教材,作适当删节后,亦可兼作中学时类型材料力学课程教材,同时可供工程技术人员参考。

材料力学

殷尔楙 主编
张治宁

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路15号 邮政编码100038)

北京隆昌印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

787×1092毫米 32开本 26印张 583千字

1994年1月第1版 1994年1月 第1次印刷

印数: 1—5000册

ISBN 7-5023-2208-6/TB·5

定价: 14.50元

前 言

本书是根据国家教委颁发的“材料力学《多学时》课程的教学基本要求”精神，结合安徽省的教学实际而编写的。它通用于机械类和土建类多学时各专业，如内容作适当删减也可用于中学时各专业，所标*号各章可视情况选用。

本书是在安徽省教委组织对在皖六所工科院校（合肥工业大学、安徽工学院、淮南矿业学院、华东冶金学院、安徽机电学院和安徽建筑工业学院）材料力学课程评估以后，由安徽省教委组织六所工科院校联合编写的。在编写过程中，分析了在皖各校材料力学课程评估中发现的问题，总结了各校有关课程建设的经验，在此基础上，认真阅读各种版本同类教本，力争在本书编写中体现出特色，尽可能做到文字简明，内容充实而精炼，知识面有一定拓宽，并吸收了近代科技成果中可以作为教材的内容。

本书在编写过程中，得到了合肥工业大学教材建设委员会和教材科郑象鹄同志的大力支持和鼓励，在此表示感谢。

参加本书编写的有淮南矿业学院张诒宁（第一、七章）、安徽工学院许强（第二、三章）、淮南矿业学院王晋平（第四、六章）、华东冶金学院时慧仁（第五、十一章）、淮南矿业学院李正伦（第八章）、合肥工业大学李和平（第九章）、合肥工业大学白嘉楠（第十、十八章）、安徽建筑工业学院晏燕（第十二章）、合肥工业大学朱慧媛（第十三章）、

安徽建筑工业学院周道祥（第十四章）、合肥工业大学张衍华（第十七章）、合肥工业大学殷尔禧和华东冶金学院万邦良（第十五、十六、十九和二十章），由殷尔禧、张诒宁担任主编，并由中国科技大学杨报昌教授主审。

限于编者水平，本书存在缺点和不当之处在所难免，恳请读者随时批评指正，以便今后加以改进。

编者 1993.3

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 材料力学的任务	1
§ 1-2 变形固体的基本假设	3
§ 1-3 内力·截面法	5
§ 1-4 应力和应变的概念	8
§ 1-5 杆件变形的基本形式	12
思考题	14
习 题	15
第二章 轴向拉伸与压缩	18
§ 2-1 轴向拉伸和压缩的概念	18
§ 2-2 轴力和轴力图	20
§ 2-3 轴向拉伸(压缩)时杆件的应力	23
§ 2-4 拉伸压缩时材料的力学性质	29
§ 2-5 许用应力和安全系数·强度条件	42
§ 2-6 轴向拉伸或压缩时杆的变形	49
§ 2-7 拉压超静定问题	58
§ 2-8 圣维南原理·应力集中	68
思考题	72
习 题	74
第三章 剪切	88
§ 3-1 剪切的观念和实用计算	88
§ 3-2 联接件的强度计算	92
§ 3-3 剪应力互等·剪切虎克定律	99
思考题	103
习 题	104

第四章 平面图形的几何性质	109
§ 4-1 静矩和形心	109
§ 4-2 惯性矩和惯性积	113
§ 4-3 平行移轴公式	118
§ 4-4 转轴公式·主惯性轴	124
思考题	130
习 题	131
第五章 扭 转	135
§ 5-1 概述	135
§ 5-2 扭矩和扭矩图	137
§ 5-3 等直圆杆扭转时的应力和强度计算	140
§ 5-4 等直圆杆扭转时的变形和刚度计算	150
§ 5-5 密圈螺旋弹簧的应力和变形	156
§ 5-6 矩形截面杆的自由扭转	163
§ 5-7 扭转超静定问题	166
思考题	170
习 题	171
第六章 弯曲内力	179
§ 6-1 平面弯曲的概念和梁的简化	179
§ 6-2 剪力和弯矩	181
§ 6-3 剪力方程和弯矩方程剪力图和弯矩图	187
§ 6-4 弯矩、剪力和分布载荷集度间的关系	198
§ 6-5 叠加法作弯矩图	205
思考题	207
习 题	207
第七章 弯曲应力	217
§ 7-1 纯弯曲梁横截面上的正应力	217
§ 7-2 横力弯曲时的正应力及强度条件	224
§ 7-3 弯曲剪应力及其强度条件	231

§ 7-4	开口薄壁杆件的弯曲剪应力、弯曲中心	246
§ 7-5	提高弯曲强度的措施	253
思考题		259
习 题		260
第八章	弯曲变形	275
§ 8-1	弯曲变形的基本概念	275
§ 8-2	挠曲线近似微分方程积分法求弯曲变形	278
§ 8-3	叠加法求弯曲变形	294
§ 8-4	梁的刚度计算	298
§ 8-5	提高梁弯曲刚度的措施	302
§ 8-6	简单超静定梁的解法	305
思考题		310
习 题		312
第九章	应力状态及应变状态分析基础	321
§ 9-1	应力状态的概念	321
§ 9-2	平面应力状态分析的解析法	325
§ 9-3	平面应力状态分析的图解法·应力圆	332
§ 9-4	梁的主应力、主应力迹线	339
§ 9-5	三向应力状态	342
§ 9-6	平面应变分析、应变圆	345
§ 9-7	广义虎克定律	353
§ 9-8	弹性应变比能	363
思考题		366
习 题		368
第十章	强度理论	377
§ 10-1	强度理论的概念	377
§ 10-2	四种常用的强度理论及其相当应力	378
• § 10-3	莫尔强度理论	381
§ 10-4	各种强度理论的适用范围及应用举例	384

思考题	392
习 题	392
第十一章 组合变形	395
§ 11-1 组合变形及其解法	395
§ 11-2 斜弯曲	396
§ 11-3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	404
§ 11-4 偏心压缩	409
§ 11-5 截面核心	414
§ 11-6 弯曲与扭转的组合变形	418
思考题	428
习 题	431
第十二章 能量法	440
§ 12-1 概述	440
§ 12-2 杆件基本变形的变形能	441
§ 12-3 虚功原理与单位力法	451
§ 12-4 图乘法	459
§ 12-5 变形能·卡氏第一定理	465
§ 12-6 余能·卡氏第二定理	473
§ 12-7 功的互等定理和位移互等定理	488
§ 12-8 力法的正则方程	493
思考题	497
习 题	500
第十三章 压杆稳定	511
§ 13-1 压杆稳定的概念	511
§ 13-2 两端铰支细长压杆的临界力	515
§ 13-3 杆端约束的影响	520
§ 13-4 欧拉公式的适用范围·经验公式	522
§ 13-5 压杆稳定计算的安全系数法	534
§ 13-6 压杆稳定计算的折减系数法	538

§ 13-7 提高压杆稳定性的措施	547
思考题	549
习 题	552
*第十四章 大曲率杆的平面弯曲	564
§ 14-1 概述	564
§ 14-2 曲杆平面弯曲时的正应力	565
*§ 14-3 曲杆的弯曲剪应力	575
思考题	580
习 题	581
*第十五章 厚壁圆筒和旋转圆盘	583
§ 15-1 厚壁圆筒应力与变形的计算方法	583
§ 15-2 不同受力情况下厚壁圆筒的应力和位移	588
§ 15-3 组合厚壁圆筒	596
§ 15-4 等厚度旋转圆盘	600
习 题	605
*第十六章 动 载 荷	607
§ 16-1 构件作等加速直线运动和匀速转时的应力计算	607
§ 16-2 冲击时的应力和变形计算	614
§ 16-3 提高构件抗冲击能力的措施	624
§ 16-4 冲击韧度	627
§ 16-5 构件受迫振动时应力计算	629
思考题	641
习 题	641
第十七章 交变应力	647
§ 17-1 疲劳破坏的概念	647
§ 17-2 交变应力的循环特征	650
§ 17-3 材料的持久极限及其测定	653
§ 17-4 影响构件持久极限的因素	656
§ 17-5 对称循环下构件的疲劳强度计算	664

§ 17-6 持久极限曲线及其简化折线	668
§ 17-7 不对称循环下构件的疲劳强度计算	671
§ 17-8 弯曲和扭转组合交变应力下构件的疲劳强度计算	679
§ 17-9 提高构件疲劳强度的措施	687
思考题	690
习 题	692
第十八章 杆件的塑性变形	699
§ 18-1 概述	699
§ 18-2 金属的塑性性质	699
§ 18-3 拉伸和压缩杆系的塑性分析	703
§ 18-4 圆轴扭转时的极限载荷	708
§ 18-5 塑性弯曲和塑性铰	710
§ 18-6 梁的塑性极限分析	716
§ 18-7 残余应力	722
思考题	725
习 题	726
*第十九章 实验应力分析基础	729
§ 19-1 概述	729
§ 19-2 电测法基本原理及其应用	729
§ 19-3 光弹性原理	744
*第二十章 线弹性断裂力学简介	759
§ 20-1 概述	759
§ 20-2 应力强度因子和脆性断裂 K_{IC} 判据	761
§ 20-3 常用应力强度因子计算介绍	769
§ 20-4 应力强度因子的塑性区修正	777
§ 20-5 能量平衡原理和能量判据	783
§ 20-6 疲劳裂纹扩展及疲劳寿命估算	789
习 题	796
附录 型钢表	798

第一章 绪 论

§1-1 材料力学的任务

生产实践中任何建筑物或机械都是由许多单个部件（零件）所组成。这些部件（零件）称为构件，在建筑物或机械正常工作时，每一构件都将受到载荷的作用。载荷是指作用于构件上的外力。为了保证建筑物或机械能正常工作、安全使用，要求构件应具有足够的承载能力，必须满足以下三个方面的要求：

1. 构件应有足够的强度 即要求构件在载荷作用下不致发生破坏。例如，当机床主轴受载荷过大而发生断裂时，整个机床就无法使用。因此，所谓强度是指构件在载荷作用下抵抗破坏的能力。

2. 构件应有足够的刚度 即要求构件在载荷作用下所发生的变形，不超过工程允许范围。例如，当齿轮轴的变形过大时（图1-1a），将使轴上的齿轮啮合不良，并引起轴承的不均匀磨损（图1-1b）。又如，吊车梁因载荷过大而发生过度的变形，会使吊车不能正常行驶。因此，所谓刚度是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。

3. 构件应有足够的稳定性 即要求构件在载荷作用下保持在原有形状下的平衡，称为稳定平衡。例如，千斤顶中的螺杆，房屋的柱子（图1-2a、b），这类构件如果是细长的，在压力作用下杆轴线有发生沿杆轴方向弯曲的可能，为

保证其正常工作，要求这类构件始终保持直轴线的平衡形式。因此，所谓稳定性是指构件保持其原有形状下的平衡形式的能力。

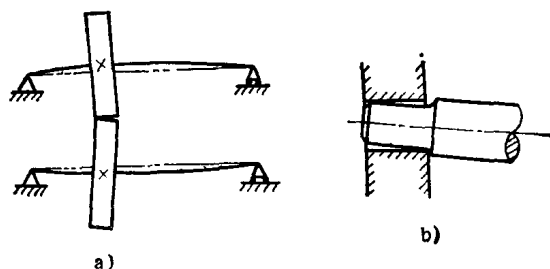


图 1-1

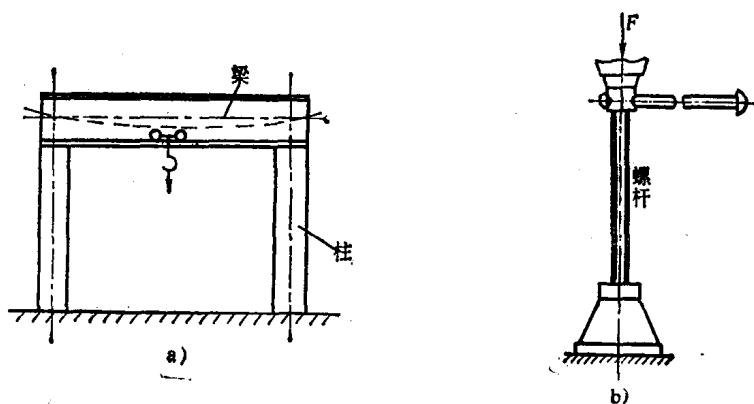


图 1-2

综上所述，为了保证构件正常工作，要求构件必须具有足够的强度、刚度和稳定性，也就是要求构件在载荷作用下具有足够的承载能力。

设计构件时，既要求满足上述强度、刚度和稳定性三方

面的要求，以达到安全目的，同时还必须尽可能合理选用材料和降低材料消耗量，以节约资金符合经济原则。显然，过分地强调安全会造成浪费，而片面地追求经济也会使构件不安全。材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性的要求下，力求合理地解决安全与经济之间的矛盾，为构件的设计和材料的选择提供基本理论和计算方法。

构件的强度、刚度和稳定性与材料的力学性能有关，而材料的力学性能必须通过材料试验来测定。此外，在材料力学中许多理论分析结果，是建立在某些假设条件之下而推得的，这些结果的正确与否有待于实验的验证，对于更多的现有理论尚无法解决的某些问题，也必须借助试验来解决。所以，实验分析和理论研究同样重要，都是材料力学解决问题的手段。

§1-2 变形固体的基本假设

各种承载构件都由固体材料制成。在外力作用下，固体将发生形状和尺寸的改变，即产生变形。因此，把这些材料统称为变形固体。在研究构件的强度、刚度和稳定性问题时，常根据与问题有关的一些主要因素，略去一些次要因素，并对变形固体作出某些假设，把它抽象成理想模型后，才能推得所需的计算公式。材料力学中对变形固体所采用的基本假设有：

1. 连续性假设 认为固体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质。实际上可变形固体从其物质结构来说，组成固体的粒子之间是有空隙的，但这些空隙的大小和构件的尺寸相比极其微小，故可以忽略不计而认为固体内部结构是密实的。这样，物体内的一些物理量（例如应力、变形和位移），

即可用坐标的连续函数表示。

2. 均匀性假设 认为在固体的体积内，各处的力学性质完全相同。实际上变形固体的**基本组成部分**（例如金属的晶粒）之间的力学性能存在着不同程度的差异，但由于基本组成部分的大小和构件尺寸相比极其微小，在构件中的排列也不规则，因此，按照统计学的观点，可以认为变形固体的力学性能是均匀的。所以，在研究问题时可以从物体中取出任何微小部分来分析研究，然后把分析结果应用于整个物体。

3. 各向同性假设 认为变形固体在各个方向上的力学性质完全相同。实际上工程中常用的一些材料如金属，就其每一个晶粒来讲其力学性能是具有方向性的，但由于构件所包含晶粒的数量极多，而且晶粒的取向和排列也没有规则，所以，按统计学的观点仍可将金属看成是各向同性的材料。比如，铸钢、铸铜和玻璃等都可认为是各向同性材料。此外，有些材料如木材和一些复合材料等，沿各个方向的力学性能显著不同，称为各向异性材料，在材料力学中一般都把变形固体假设为各向同性体。

还须指出，在材料力学中，当构件的变形与其原始尺寸相比甚小时，称之为小变形。因此，在研究构件的平衡和运动时，就可以忽略其小变形，仍按变形前的原始尺寸进行分析计算。应用小变形概念，既能满足工程要求，又能简化计算。

工程材料在载荷作用下均将发生变形，绝大多数的材料，当载荷不超过一定的范围时，撤去载荷均可恢复原状。若载荷过大则在撤去载荷后只能是部分地恢复而在固体内残留着不能消失的变形。在载荷撤去后，能完全消失的变形称为弹性变形。消失不掉的变形则称为永久变形、残余变形或

塑性变形。一般情况下，要求构件在正常工作时只发生弹性变形。所以在材料力学中研究的大部分问题是局限于弹性变形范围以内。

综上所述，在材料力学范围内，是把实际材料看作是均匀、连续、各向同性的变形固体。且大多数场合下局限于小变形情况下在弹性范围内进行研究。

§1-3 内力·截面法

物体在外力作用下发生变形，其内部各质点的相对位置改变引起了各质点之间的相互作用力发生变化，这种由于受外力作用而引起的相互作用力的改变量就是内力，又称其为“附加内力”。这样的内力随外力增加而加大，当达到某一定程度时就会使构件破坏，因而它与构件的强度计算密切相关。

为了显示和确定构件任一截面 $m-m$ 上的内力，假想地用一截面将构件截开，分为 A 和 B 两部分（图1-3a），取其中任一部分，例如 A 为分离体来研究。弃去左面部分 B ，而把 B 对留下部分 A 的作用以截开面上的内力来代替（图1-3b），根据作用与反作用定律， A 部分必然也以大小相等，方向相反的力作用于 B 部分。显然， A 和 B 两部分之间相互作用的力就是物体在 $m-m$ 截面上的内力。根据连续性假设可知，内力是连续并以一定规律分布在整個截面上的。当作用于 A 部分（或 B 部分）上外力已知时，只要应用力系的平衡条件，就可以求得作用在截面上分布内力的合力或力偶矩，现在所研究的内力一般是指分布内力的主矢和主矩。若将主矢和主矩分别向指定坐标 x 、 y 、 z 三个坐标轴投影，便可得到该截面上六个内力分量： F_{Nx} 、 F_{Ny} 、 F_{Nz} 和 M_x 、 M_y 、 M_z （图1-4）。

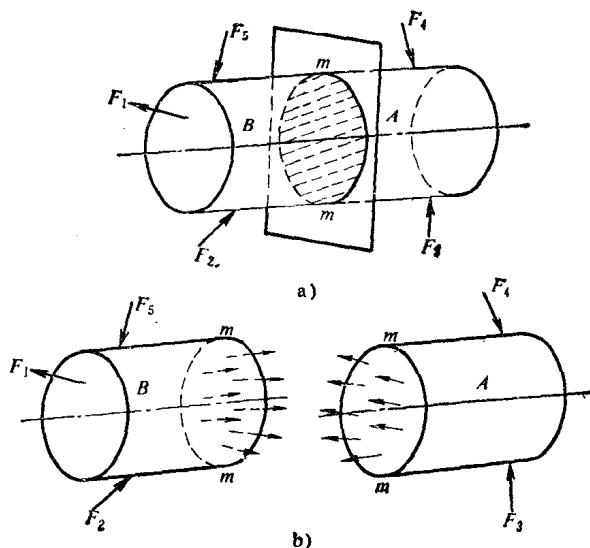


图 1-3

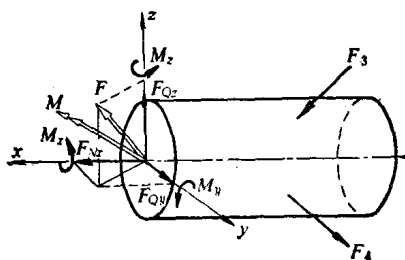


图 1-4

上述以物体平衡为基础，应用假想截面把物体分成两部分以显示并确定内力的方法称为截面法。全部过程可以归纳为截、取、显、定四个字，它们的含义为：

(1) 截 在求某截面上的内力时，用假想截面沿该截面将构件截开分成两部分。